

Стоит отметить, что изготовителю МЭА зачастую крайне сложно проводить контроль информативных параметров ИС, т.к. для этого необходимо оснащение служб входного контроля автоматизированными тестерными системами, увеличение штата высококвалифицированного персонала. Кроме того, при производстве изделий космического и военного назначения используется очень широкая номенклатура ЭРИ и ИС. Поэтому измерять параметры ИС по ТУ при проведении входного контроля становится экономически нецелесообразным. Выходом из сложившейся ситуации могут служить другие методы ДНК, основанные на связи статистического параметра с надежностью. Наиболее наглядным среди электрофизических методов неразрушающего контроля является электропараметрический, основанный на исследовании вольт-амперных характеристик (ВАХ). При этом для оценки качества используются как количественные, так и качественные признаки.

Горюнов Олег Олегович, студент кафедры КТЭСиУ. E-mail: tututka.95@mail.ru

УДК 538.911, 535-14

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ**

А.Н. Агафонов, К.Н. Тукмаков, А.С. Решетников

Институт систем обработки изображений РАН - филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук»,

г. Самара

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Целью данной работы являлось рассмотрение возможности изготовления фотонно-кристаллических структур терагерцового диапазона различными методами 3D печати. Технология 3D печати позволяет формировать двух- и трехмерные фотонно-кристаллические структуры, которые было бы крайне затруднительно реализовать в рамках планарной технологии, тем не менее, в настоящее время остается нерешенной часть проблем, связанных с реализацией фотонно-кристаллических элементов с помощью 3D печати, в частности:

- создание фотонно-кристаллических структур на пропускание требует высокого значения показателя преломления материала

- не определены границы диапазонов длин волн, в которых применимы технологии 3D-печати для изготовления фотонно-кристаллических структур;

- не использованы возможности эффективного управления спектром излучения, которые появляются при использовании неперiodических фотонно-квазикристаллических структур.

Предельное разрешение современных методов 3D печати может достигать до десятков микрон для широко распространенных методов и до сотен нанометров при использовании сравнительно дорогостоящих методик, например двухфотонной полимеризации [1], что говорит о принципиальной возможности реализации фотонно-кристаллических структур (в том числе трехмерных), что и было продемонстрировано в ряде работ [2, 3, 4].

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены наиболее распространенные методы 3D печати, определена их пригодность для изготовления различных типов фотонно-кристаллических структур для ТГц диапазона электромагнитного излучения. Разработаны и изготовлены тестовые 3D структуры, позволяющие оценить возможности различных технологий 3D печати. Показано, что технологии, базирующиеся на процессе фотополимеризации, например SLA, позволяют получить наибольшее разрешение, но полученные структуры требуют, как правило, дополнительной обработки, связанной с нанесением металлических слоев, что в некоторых случаях представляет значительную сложность. Технологии, базирующиеся на лучевой обработке порошковых материалов, например SLS, позволяют получить отражающие структуры без дополнительных операций, однако, накладывают определенные ограничения на топологию моделей и имеют сравнительно низкое разрешение. Наиболее распространенные в массовом сегменте технологии FDM имеют существенные ограничения, связанные с формой выдавливаемой нити филамента и имеют сравнительно низкое разрешение.

Таким образом, наиболее перспективным направлением в изготовлении фотонно-кристаллических структур методами 3D печати авторы считают использование различных вариантов технологии фотополимеризации с последующим нанесением металлического отражающего покрытия, что позволяет изготовить достаточно широкий класс устройств различного назначения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-29-03303.

#### Список использованных источников

1. Two-photon polymerization technique for microfabrication of CADdesigned 3D scaffolds from commercially available photosensitive materials / A. Ovsianikov, S. Schlie, A. Ngezahayo, A. Haverich, and B. N.

Chichkov // Journal of tissue engineering and regenerative medicine – 2007 – Vol. 1, P. 443-449.

2. 3D printing of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> photonic crystals for terahertz frequencies/C.R. Tubío, J.A. Nóvoa, J. Martín, F.Gutián, J.R. Salgueiro, A. Gil //RSC Advances.- 2016.- 6 (3).- 2450-2454.

3. Terahertz plasmonic waveguides created via 3D printing/ Shashank Pandey, Barun Gupta, and Ajay Nahata// Opt. Express.- 2013.-21(21). -24422-24430.

4. 3D printed low-loss THz waveguide based on Kagome photonic crystal structure/Jing Yang, Jiayu Zhao, Cheng Gong, Haolin Tian, Lu Sun, Ping Chen, Lie Lin, and Weiwei Liu// Opt. Express.- 2016-24(20).-22454-22460.

УДК 537.5; 537.525.99,519.688

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ МАСКИ ВО ВНЕЭЛЕКТРОДНОЙ ПЛАЗМЕ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

А.В. Николаев, М.А. Маркушин, В.А. Колпаков

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Метод каталитической маски обладает определенными преимуществами по сравнению с известными методами формирования дифракционного микрорельефа. В частности, он позволяет изменением режимов обработки и топологии маски управлять параметрами микрорельефа, а также с высокими равномерностью и скоростью формировать дифракционный микрорельеф на широкоформатных пластинах разных оптических материалов. В связи с этим возникает необходимость в развитии представленного метода.

Для формирования каталитической маски оптических элементов на поверхности структуры алюминий–кремний актуально и целесообразно применятьвнеэлектродную плазму высоковольтного газового разряда, чтодоказано в ряде работ [1,2].

Получение количественных значений концентраций примесных атомов, длительности облучения, величины глубины легирования( $h$ ) маскирующего материала при заданном токе разряда $I$  и ускоряющем напряжении $U$  с помощью разработанной физико-математическоймодели является трудоемкой задачей и требует больших временных затрат, что является недостатком при создании оптического микрорельефа на поверхности кремния. Существующие программные продукты в области компьютерной оптики [3] не обладают необходимыми средствами.